

# RESISTÊNCIA DE LIGAÇÕES PREGADAS EM MADEIRA

## STRENGTH OF NAILED TIMBER JOINTS

**Bruna B. Maia** <sup>(1)</sup> (A), **Jorge L. N. Góes** <sup>(2)</sup>

(1) Engenheira Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

(2) Dr. Prof., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Endereço de contato: brunabernardimaia@gmail.com; (A) Apresentador

**Código de identificação: T6-18**

### Resumo

As ligações são consideradas pontos críticos das estruturas de madeira, visto que o desempenho global da estrutura está relacionado com o comportamento de suas ligações. Portanto, é necessário que seja dada a devida atenção ao dimensionamento das ligações afim de oferecerem resistência, durabilidade e segurança à estrutura. Existem diversos tipos de ligações para estruturas de madeira, porém as mais utilizadas no Brasil são as ligações por pinos metálicos, que podem ser pregos ou parafusos, devido ao baixo custo e facilidade de aplicação. O método de dimensionamento desse tipo de ligação proposto tanto pela NBR 7190/97 quanto pelo EUROCODE 5/04 advém da Teoria de Johansen (1949), porém a norma brasileira é simplificada e restrita a algumas configurações específicas de peças e desconsidera alguns efeitos não lineares, que possuem influência direta na resistência final da ligação, já a norma europeia é mais abrangente e considera outros fenômenos físicos presentes na ligação. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é analisar a resistência de ligações com pregos em madeira, comparando resultados obtidos através de ensaios experimentais com os resultados propostos pelos modelos teóricos dos documentos normativos brasileiro e europeu. Os ensaios experimentais foram realizados com madeira da espécie *Apuleia Leiocarpa* (Garapeira), e pregos lisos do modelo padrão comercial 20x30. Analisando os resultados obtidos foi possível observar que o resultado teórico apresentado pelo método de cálculo proposto pelo EUROCODE 5/04 considerando o efeito de corda foi o que mais se aproximou do resultado experimental.

**Palavras chave:** ligações em madeira; resistência; pregos; teoria de Johansen

### Abstract

*The joints are considered the critical factor of the structure, seeing that the performance of the structure is related to the behavior of their connections. Therefore, it must be given due attention to the design of connections in order to provide strength, durability and safety of the structure. There are several types of connections for wooden structures, but the most used in Brazil are timber joints with dowel fasteners, which can be nails or screws, due to the low cost and easy application. The design of this type of timber joint proposed by both the NBR 7190/97 and by EUROCODE 5/04 comes from Johansen's theory, but the Brazilian code is simplified and restricted to some specific configurations of parts and excludes some non-linear effects, which have direct influence on the ultimate strength of the connection, nevertheless the European code is more comprehensive and considers others physicals phenomena present on the timber joint. Therefore, the objective of this work is to analyze the strength of nailed timber joints, comparing results obtained by experimental tests with the results proposed by theoretical models of Brazilian and European normative documents. The experimental program was conducted with wood species *Apuleia Leiocarpa* (Garapeira), and smooth nails the standard business model 20x30. Analyzing the results, it was observed that the theoretical results according to EUROCODE 5/04 considering the rope effect was the closest to the experimental result.*

**Keywords:** timber joints; strength; nails; Johansen's theory

## 1. INTRODUÇÃO

As ligações em estruturas de madeira são indispensáveis, ora por ser uma estrutura reticulada, ora para unir as peças de madeira para a adequação às dimensões de projeto. Visto que o desempenho global da estrutura está relacionado com o desempenho de suas ligações, é necessário que estas sejam devidamente dimensionadas, a fim de oferecerem durabilidade, resistência e segurança à estrutura.

Entre os diversos tipos de ligações existentes para as estruturas de madeira, o mais utilizado no Brasil são as ligações por pinos metálicos, que podem ser pregos ou parafusos, devido a seu baixo custo e facilidade de aplicação.

O trabalho mais relevante sobre este tipo de ligação foi desenvolvido por Johansen, em 1949, e complementado por estudos posteriores originou o chamado EYM (European Yield Model), que serve hoje de base para o cálculo de resistência em vários documentos normativos, entre eles o brasileiro (NBR 7190) e o europeu (EUROCODE 5).

Apesar de advirem da mesma teoria, a norma brasileira apresenta um método de dimensionamento para ligações por pinos metálicos simplificado, porém restrito, quando comparado com o método proposto pela norma europeia, tendo em vista que permite apenas o dimensionamento de ligações entre peças de madeira com mesma resistência ao embutimento, mesma direção das fibras entre os elementos, indica as mesmas equações para ligações com corte simples e corte duplo, além de não considerar alguns efeitos não lineares, que possuem influência direta na resistência final da ligação.

Diante do exposto, e tendo em vista que a norma brasileira está atualmente em fase de revisão, é fundamental um estudo comparativo entre os modelos analíticos apresentados pela norma brasileira e pela norma europeia, comparando com resultados de ensaios experimentais, a fim de avaliar qual o modelo de cálculo mais apropriado para as ligações pregadas em madeira.

## 2. RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES POR PINOS METÁLICOS

### 2.1 Teoria de Johansen

A resistência das ligações por pinos depende da resistência da madeira ao embutimento do pino ( $f_e$ ) e da resistência do pino à flexão ( $M_y$ ). Para formulação de sua teoria, Johansen [1] assumiu um comportamento perfeitamente plástico tanto para a madeira quanto para o pino metálico, e verificou através de ensaios que as falhas das ligações aconteciam de maneiras diferentes. A partir disso, Johansen utilizou do princípio de equilíbrio de forças para desenvolver equações para cada modo de ruptura.

Möller [2] reformulou as equações de Johansen [2] para casos com diferentes espessuras de peças de madeira e diferentes resistências ao embutimento.

Os modos de falha são baseados na combinação dos fenômenos de embutimento da madeira em cada peça e flexão do pino metálico, Veloso et al. [3]. Nos modos de falha (Ia) e (Ib), tanto para seção simples de corte quanto para seções duplas, a falha ocorre pelo embutimento da madeira em apenas uma das peças, sem ocorrência de deformação do pino metálico. O modo (Ic) ocorre em apenas seção simples de corte, onde acontece o embutimento da madeira nas duas peças simultaneamente sem deformação do pino metálico. Nos modos (IIa) e (IIb) ocorre embutimento da madeira nas duas peças e deformação do pino metálico devido à flexão em uma das peças, com a ocorrência de apenas uma rótula plástica. Por fim, no modelo (III) ocorre deformação do pino metálico devido à flexão e embutimento da madeira nas duas peças, com a formação de duas rótulas plásticas. A figura 1 ilustra os modos de falha para corte simples e corte duplo.

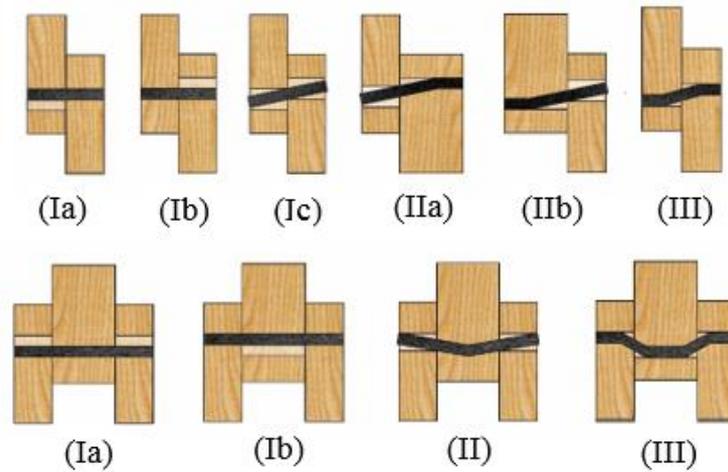


Figura 1: Modos de falha para corte simples e corte duplo

## 2.2 Método de cálculo segundo a NBR 7190/97

A norma brasileira apresenta apenas um modelo para dimensionamento de ligações por pinos metálicos, fazendo diferenciação entre pregos e parafusos apenas no dimensionamento da pré-furação e na determinação de diâmetros máximos dos pinos.

A NBR 7190 [4] não permite que forças de atrito das superfícies em contato, nem esforços transmitidos por grampos, braçadeiras ou estribos sejam levados em consideração nos cálculos de resistência das ligações.

O cálculo da resistência da ligação, segundo a norma brasileira, é dado em função da resistência de cálculo ao embutimento ( $f_{e,d}$ ) das duas madeiras interligadas, da resistência de cálculo de escoamento ( $f_{y,d}$ ) do pino metálico, diâmetro ( $d$ ) do pino, e da espessura convencional ( $t$ ), sendo o valor de tal espessura o menor entre  $t_1$  e  $t_2$ , como exposto na figura 2.

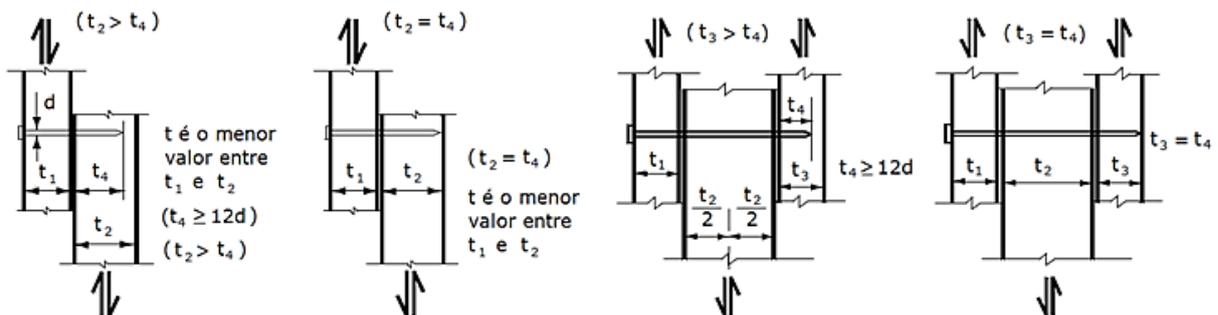


Figura 2: Ligações pregadas em corte simples e corte duplo

A NBR 7190 [4] considera apenas dois modos de falha distintos para a ligação, sendo eles: falha por embutimento do pino na madeira ou falha por flexão do pino. A determinação do modo de falha é feita através da verificação do parâmetro  $\beta$  e  $\beta_{lim}$ , como mostra as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (1)$$

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{y,d}}{f_{e,d}}} \quad (2)$$

Quando  $\beta \leq \beta_{lim}$ , deve-se utilizar a equação 3 para cálculo da resistência da ligação ( $R_d$ ), que considera falha por embutimento na madeira.

$$R_d = 0,4 t d f_{e,d} \quad (3)$$

Quando  $\beta > \beta_{lim}$ , deve-se utilizar a equação 4 para cálculo da resistência da ligação ( $R_d$ ), que considera falha por flexão do pino.

$$R_d = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{y,d} \quad (4)$$

Segundo Santana [5], quando peças com direções das fibras diferentes em relação à direção de cálculo da resistência, deve-se aplicar a equação 1 para cada uma das peças utilizando-se a espessura de cada uma delas.

### 2.3 Método de cálculo segundo o EUROCODE 5

A norma europeia para estruturas em madeira considera todos os modos de falha propostos por Möller-Johansen para ligações por pinos metálicos, e ainda considera outros fatores, como atrito entre as peças ligadas e efeito de corda (tração do pino causada pela flexão do mesmo). O EUROCODE 5 [6] indica que o efeito de corda deve ser considerado apenas quando verificado em ensaios.

O modelo de cálculo de resistência das ligações por pinos metálicos abordado pela norma é o mesmo para pregos e parafusos, porém a determinação dos espaçamentos mínimos, do momento resistente à flexão do pino, do número de pinos efetivos, e da pré-furação são diferentes para cada um.

A resistência característica das ligações por pinos metálicos corresponde ao menor valor obtido do conjunto de equações, divididos para uma e duas seções de corte, onde cada uma advêm de um modo de falha. As tabelas 1 e 2 mostram as equações para seção simples e dupla de corte, respectivamente, e os modos de falha correspondentes.

Tabela 1: Modos de falha e equações do EUROCODE 5 para seções simples de corte

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado.	
(Ia)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} t_1 d$	(5)
(Ib)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} t_2 d \beta$	(6)
(Ic)	$F_{v,Rk} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2 \beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(7)
(IIa)	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2 \beta (1 + \beta) + \frac{4 \beta (2 + \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(8)

(Iib)	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2 \beta^2 (1 + \beta) + \frac{4 \beta (1 + 2 \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(9)
(III)	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(10)

Tabela 2: Modos de falha e equações do EUROCODE 5 para duas seções de corte

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado.	
(Ia)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} t_1 d$	(11)
(Ib)	$F_{v,Rk} = 0,5 f_{e1,k} t_2 d \beta$	(12)
(II)	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2 \beta (1 + \beta) + \frac{4 \beta (2 + \beta) M_{y,d}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(13)
(III)	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	(14)

Onde:  $t_1$  e  $t_2$  são as espessuras dos elementos de madeira;  $f_{e,k1}$  e  $f_{e,k2}$  são as resistências ao embutimento das madeiras dos elementos 1 e 2 respectivamente;  $d$  é o diâmetro do prego;  $\beta$  é a relação entre as resistências ao embutimento dos elementos 1 e 2, segundo a equação (15); e  $M_{y,k}$  é o momento plástico característico do prego definido pela equação (16), onde  $f_u$  é a resistência última do aço do prego a tração.

$$\beta = \frac{f_{e2,k}}{f_{e1,k}} \quad (15)$$

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{para pregos redondos} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{para pregos quadrados e com ranhura} \end{cases} \quad (16)$$

Nas Equações 8 a 10, 13 e 14, o primeiro termo é a capacidade de carga de acordo com a teoria de Johansen multiplicada por um coeficiente devido à parcela de atrito, enquanto o segundo termo ( $F_{ax,Rk}/4$ ) é a contribuição da resistência ao arrancamento (efeito de corda), que deve ser limitada para pregos redondos no valor de 15% da parcela de Johansen.

Segundo Timber Engineering STEP 1 [7], para ligações com múltiplas seções de corte, deve-se multiplicar as equações pelo número de cortes, assim, para seção dupla simétrica, multiplica-se as equações por dois. Na utilização das equações para corte duplo,  $t_2$  será a espessura do elemento central e  $t_1$  a espessura dos elementos exteriores ou a espessura de penetração do pino nos elementos exteriores, utilizando o que tiver menor valor.

### 3. METODOLOGIA

A análise experimental foi realizada com o objetivo de avaliar a resistência das ligações pregadas para posteriormente, comparar com os resultados de modelos analíticos de cálculo de resistência de ligações pregadas propostos pela NBR 7190 [4] e EUROCODE 5 [6], verificando qual o modelo mais indicado para dimensionamento deste tipo de ligação.

Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Sistemas Estruturais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Campo Mourão.

#### 3.1 Materiais

Foi utilizada madeira de alta densidade da espécie *Apuleia Leiocarpa* (Grapeira) para confecção dos corpos de prova para os testes de caracterização e também para os ensaios de ligações.

Os pinos utilizados foram pregos lisos do modelo padrão comercial 20x30 (diâmetro de 4,4 mm e comprimento de 96,6 mm), por possuir dimensões que atenderam aos valores mínimos de penetração segundo a NBR 7190 [4], tendo em vista que possuíram apenas uma seção de corte.

A pré-furação da madeira foi realizada em furadeira de bancada com brocas de aço rápido com diâmetro de 4 mm, a fim de atender as exigências de pré-furação da norma brasileira.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Determinação da densidade e umidade

A determinação da densidade e umidade foi realizada de acordo com os procedimentos determinados pela NBR 7190 [4], anexo B: Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas. Foram extraídos aleatoriamente seis corpos de provas, com seção transversal de 3,0 cm x 2,0 cm e 5,0 cm de comprimento ao longo das fibras, que foram pesados em balança de precisão e colocados em estufa.

##### 3.2.2 Determinação da resistência a compressão paralela às fibras

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7190 [4], anexo B: Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas. Foram extraídos aleatoriamente seis corpos de provas, com seção transversal de 5,0 cm x 5,0 cm por 15 cm de comprimento, que foram submetidos a um carregamento monotônico crescente de 10 MPa/min e os resultados de resistência à compressão foram obtidos pela máquina universal de ensaios modelo DL 30000 com capacidade máxima de 300 kN.

##### 3.2.3 Determinação da resistência ao embutimento

O procedimento de carga do ensaio de embutimento da madeira paralelo às fibras foi realizado de acordo com EN 383 [8]. As dimensões adotadas buscaram atender tanto a norma brasileira, NBR 7190 [4], quanto a norma europeia, EN 383 [8]. Foram confeccionados seis corpos de prova, extraídos aleatoriamente, com seção transversal de 10 mm x 60 mm e 124 mm de comprimento, com o prego localizado no centro do corpo de prova.

##### 3.2.4 Determinação da resistência última de tração do prego

Foram realizados ensaios de tração no prego conforme as recomendações da ABNT NBR ISO 6892 [9], para a determinação da resistência última de tração. O método consistiu na aplicação de força de tração axial crescente e contínua até que ocorra ruptura do corpo de prova.

### 3.2.5 Preparação dos corpos de prova de ligação

Foram confeccionados seis corpos de prova, atendendo as exigências de espaçamento entre os pregos e penetração, para caracterização da resistência de uma ligação segundo a NBR 7190 [4], anexo C: Determinação de resistências das ligações mecânicas das estruturas de madeira. Foi utilizado um total de oito pregos em cada corpo de prova, contendo cada um apenas uma seção de corte. As dimensões adotadas e a distribuição dos pregos estão representadas nas figuras 3 e 4.

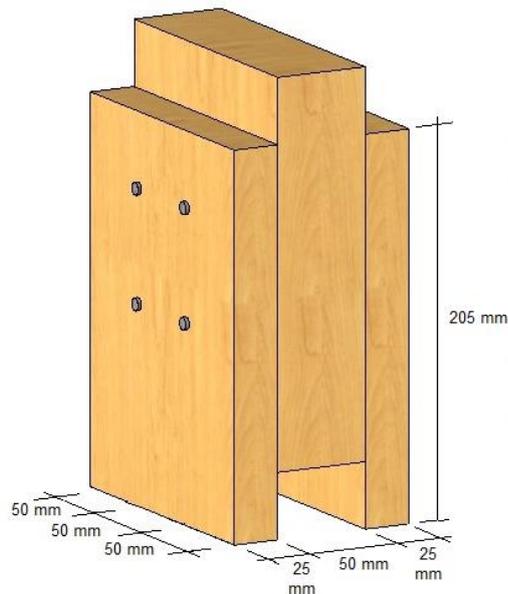


Figura 3: Dimensões dos corpos de prova

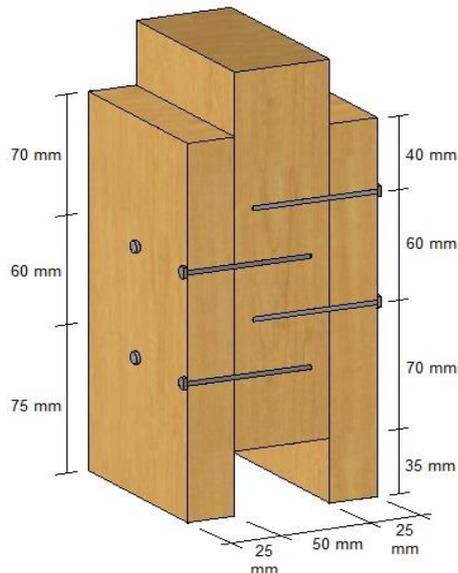


Figura 4: Distribuição dos pregos

As espessuras das peças foram estabelecidas conforme item 8.3.4 da NBR 7190 [4], sendo utilizada a espessura padrão de 25 mm para as cobrejuntas. A peça central foi construída com o dobro da espessura das respectivas cobrejuntas.

Após o corte das peças de madeira nas dimensões apropriadas, os corpos de prova foram montados com o auxílio de grampos de aperto rápido, para garantir que as peças ficariam na posição correta para a pré-furação e posterior pregação.

### 3.2.6 Ensaio de resistência da ligação

Foi realizado de acordo com o método de ensaio de resistência e rigidez de ligações pregadas paralelas às fibras, segundo EN 26891 [10], onde o procedimento de carga consistiu em um incremento de carga de  $0,2F_{est}$  por minuto, e ao atingir  $40\%$  de  $F_{est}$ , a carga foi mantida por 30 segundos. Após este período, procedeu-se à descarga, mantendo o valor do incremento de carga anterior, agora negativo, até aos  $10\%$  de  $F_{est}$ , os quais foram mantidos por mais 30 segundos. Posteriormente seguiu-se o carregamento, ainda com o mesmo incremento de carga, até atingir  $70\%$  de  $F_{est}$ , e a partir disto o incremento de carga foi tal que a ruptura aconteceu nos próximos 3 a 5 minutos. A figura 5 mostra o diagrama de carregamentos adotado e a figura 6 mostra o ensaio sendo realizado.

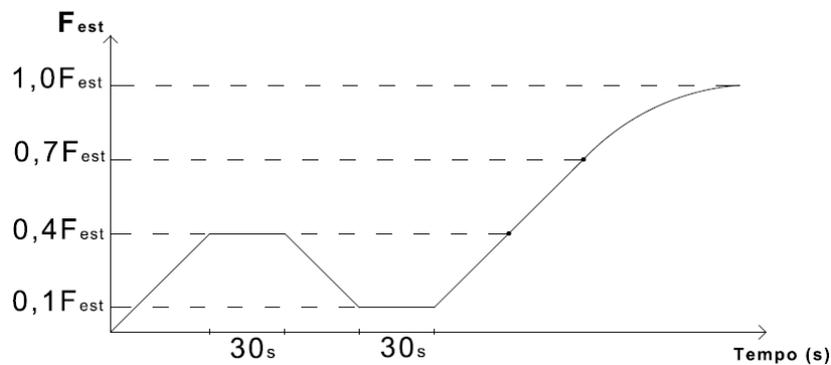


Figura 5 - Procedimento de carga



Figura 6 – Ensaio de resistência da ligação

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 Caracterização dos materiais

A tabela 3 apresenta as propriedades da madeira *Apuleia Leiocarpa* (Garapeira) utilizada para a confecção dos corpos de prova para ensaio de resistência da ligação pregada. Os ensaios de caracterização foram realizados nas mesmas condições de umidade que os ensaios de ligações.

Tabela 3: Resultados das propriedades da madeira

Nome comum	Nome científico	Teor de umidade aparente (%)	$\rho_{ap,m}^{1)}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{c0,m}^{2)}$ (MPa)	$f_{e0,m}^{3)}$ (MPa)
Garapeira	<i>Apuleia Leiocarpa</i>	13,52%	862,22	63,12	74,22
1) $\rho_{ap,m}$ é a massa específica aparente média sem correção de umidade					
2) $f_{c0,m}$ é a resistência média a compressão paralela às fibras					
3) $f_{e0,m}$ é a resistência média de embutimento da madeira paralelo às fibras					

Os resultados dos ensaios de tração do prego liso padrão comercial 20x30 são mostrados na tabela 4. A resistência última foi calculada considerando o diâmetro nominal dos pregos de 4,4 mm.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de tração no prego

Corpo de prova	Força última de ruptura à tração (N)	Resistência última – $f_u$ (MPa)
CP - 1	10652	700,79
CP - 2	11230	738,82
CP - 3	10229	672,96
CP - 4	10889	716,38
CP - 5	11220	738,16
CP - 6	11405	750,33
Média		719,57
Desvio padrão		26,45
Coef. de variação (%)		3,68 %

### 4.2 Resistência da ligação pregada em madeira

Os resultados dos ensaios de resistência das ligações são apresentados na tabela 5, sendo estes correspondentes a força máxima aplicada limitada a um deslocamento máximo de 15 mm, de acordo com a norma EN 26891 [10]. O baixo coeficiente de variação do ensaio agrega confiabilidade aos resultados obtidos.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de resistência de ligações pregadas em madeira

Corpo de prova	Resistência da ligação – R <sub>v</sub> (N)
CP - 1	30657
CP - 2	31400
CP - 3	30068
CP - 4	30956
CP - 5	29583
CP - 6	30254
Média	30486
Desvio padrão	652,61
Coef. de Variação (%)	2,14 %

Para fins de comparação, os cálculos analíticos, de acordo com os documentos normativos brasileiro e europeu, para determinação da resistência da ligação foram realizados utilizando os valores médios de resistência ao embutimento da madeira e resistência última do aço do prego obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais, não sendo transformados para valores característicos nem para valores de cálculo, sem a consideração de coeficientes de modificação ou minoração das resistências. Para as equações que consideram a resistência ao escoamento do aço do prego foi utilizado o valor mínimo determinado pelas normas brasileira e europeia, de 600 MPa.

A tabela 6 apresenta os resultados dos modelos analíticos, o resultado experimental médio, e as diferenças percentuais entre os valores estimados e o resultado experimental.

Tabela 6: Resultados dos modelos analíticos, experimental médio e diferenças percentuais

	NBR 7190/97	EUROCODE 5 sem efeito de corda	EUROCODE 5 com efeito de corda	Resultado experimental (médio)
Resistência da ligação (N)	16361	23706	26798	30486
Diferença percentual	46,3%	22,1%	12,1%	-

Os resultados mostrados na tabela 6 são expressos em forma gráfica na figura 7, onde o eixo das abscissas apresenta os modelos analíticos e ensaio experimental, e o eixo das ordenadas os valores de resistências da ligação.

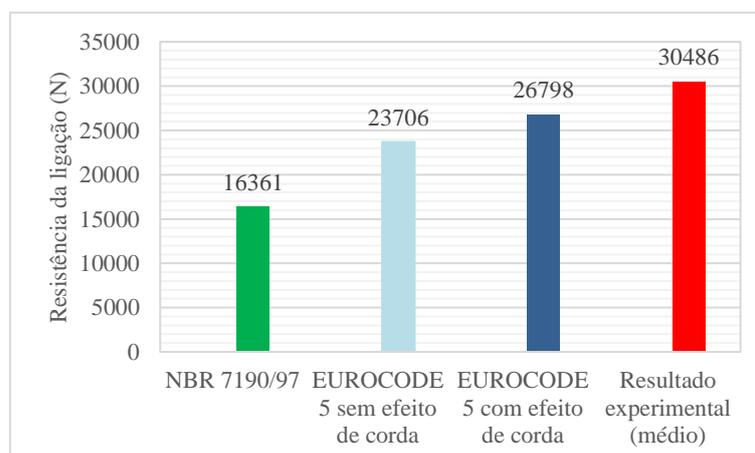


Figura 7: Resistência da ligação

Ao analisar a linha das diferenças da tabela 6 e a figura 7, nota-se que o resultado analítico obtido através do método de cálculo proposto pelo EUROCODE 5 [6] considerando o efeito de corda é o que mais se aproxima do resultado experimental; já o resultado que mais se distancia é o obtido através do método de cálculo proposto pela NBR 7190 [4].

Um dos fatores que contribui para tal distanciamento é o fato de o resultado analítico segundo a NBR 7190 [4] ser oriundo da equação proposta para falha por flexão do pino, que considera a resistência ao escoamento do prego, diferentemente do EUROCODE 5 [6] que considera a resistência última a tração do prego, além de considerar o atrito entre as peças de madeira e a resistência ao arrancamento do pino. Outra razão pode estar relacionada com o método de ensaio utilizado, uma vez que os limites de ensaio estipulados pela norma brasileira são diferentes dos limites estipulados pela norma utilizada, EN 26891 [10].

Quanto aos modos de falha, tanto no modelo de cálculo proposto pelo EUROCODE 5 [6] quanto no proposto pela NBR 7190 [4] a resistência da ligação é dada pelo modo caracterizado predominantemente por flexão do pino. Na figura 8 observa-se um corpo de prova de ligação aberto após o ensaio de resistência, onde é possível notar a deformação do pino metálico devido à flexão.



Figura 8: Modo de falha do resultado experimental

## 5. CONCLUSÕES

Com base nas comparações entre modelos teóricos de documentos normativos nacionais e internacionais com resultados experimentais, pode-se concluir que:

- Para ligações com pregos lisos em madeira da espécie *Apuleia Leiocarpa*, submetidos a ensaio segundo a norma europeia, o modelo de cálculo proposto pelo EUROCODE 5 se apresentou mais eficiente que o modelo da NBR 7190.
- As considerações e simplificações da NBR 7190 implicaram em valor teórico de resistência da ligação 38,9% inferior ao do modelo proposto pelo EUROCODE 5.
- Do ponto de vista da segurança, os modelos apresentados tanto pela NBR 7190 quanto pelo EUROCODE 5 são interessantes, por apresentarem resultados inferiores ao resultado experimental.
- O modo de falha obtido no ensaio experimental corresponde aos modos de falha propostos pelos cálculos analíticos.
- Sobre a resistência de ligações pregadas, mais estudos devem ser realizados, a fim de avaliar a eficiência do modelo de cálculo propostos pela NBR 7190 e EUROCODE 5 para espécies nativas

com diferentes densidades, como também estudos que analisem a influência do método de ensaio na determinação da resistência das ligações.

## REFERÊNCIAS

- [1] Johansen, K. W. Theory of timber connections. **International Association for Bridge and Structural Engineering**. Zurich. Vol. 9. 1949.
- [2] Möller, T. (1950). New method of estimating the bearing strength of nailed wood connections. Sweden, **Transaction of Chalmers University of Technology**, Report N° 117.
- [3] Veloso, L. A. C. M., Martinez, M. A. B.; Alvim, R. De C; Almeida, P. A. De O. Sobre o modelo de Johansen (EUROCODE 5) para o cálculo da resistência de ligações de peças de madeira com pinos metálicos. **In: Anais do VIII Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira**, Uberlândia. 2002. Anais...1 CD-ROM.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190: Projeto Estruturas de Madeiras**. Rio de Janeiro: 1997.
- [5] Santana, C. L. de O. **Análise não-linear de pórticos planos de madeira com ligações semi-rígidas**. 2002. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- [6] European Committee for Standardization. **EUROCODE 5: Design of Timber Structures**. Brussels, 2004.
- [7] Timber Engineering Step 1. **Basis of design, material properties, structural components and joints**. Holanda: Centrum Hout. 1995.
- [8] European Committee for Standardization. **EN 383: Timber Structures. Test Methods. Determination of Embedding Strength and Foundation Values for Dowel Type Fasteners**. European Standard, Brussels, 1993.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas - **NBR ISO 6892: Materiais metálicos - Ensaio de tração à temperatura ambiente**, Rio de Janeiro, 2013, p. 70
- [10] European Committee for Standardization. **EN 26891: Timber Structures-Joints made with mechanical fasteners. General principles for determination of strength and deformation**. European Standard, Brussels, 1991.